

VERIFICA DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE CONDOTTE SUB LACUALI TOSCOLANO MADERNO – TORRI DEL BENACO

IL COLLETTORE FOGNARIO

Il collettore in questione convoglia in pressione i reflui fognari ancora da trattare da Toscolano Maderno sulla sponda bresciana sino a Torri del Benaco sulla sponda veronese, in prossimità di Punta San Vigilio, attraversando completamente l'alto lago di Garda.

Una volta raggiunta la sponda veronese, i reflui fognari vengono convogliati in altrettanti collettori sub lacuali in cui vengono fatte confluire anche le acque reflue raccolte via via lungo l'intera sponda veronese del lago sino a raggiungere il depuratore di Peschiera del Garda in grado di trattare le portate dell'intero lago.

Il collettore è stato realizzato tra anni 1984 e 1985 dal Raggruppamento d'Imprese Cimi-Montubi (capogruppo) e Geomar ed è costituito da 2 condotte sub lacuali parallele in acciaio aventi un diametro di DN 400mm dello spessore di 13,5mm che si estendono per una lunghezza di circa 7,396 km secondo un tracciato di posa che raggiunge la profondità massima di -247m.

Il progetto delle opere, redatto dagli Ingg. Ugo Maione e Domenico Zampaglione di Milano, risale ai primi anni '80.

Esattamente come risultante dalla documentazione agli atti di Acque Bresciane, nel Giugno 1985, a lavori di posa già ultimati, è stata effettuata una prova idraulica di pressione con esito positivo su entrambe le condotte costituenti il collettore.

A valle di tale prova idraulica le condotte sono state quindi poste in esercizio.

PROGRAMMAZIONME DELLE ISPEZIONI PERIODICHE

I sistemi di trasporto e di adduzione di acque reflue sono considerati delle arterie vitali, di conseguenza la loro affidabilità se è di primaria importanza per condotte a terra diventa addirittura imperativa per condotte subacquee in quanto esiste uno stretto legame con il pericolo della distruzione della fauna, della flora, delle risorse naturali e paesaggistiche in caso di sversamento del prodotto trasportato nell'ambiente.

Riparare dei danni su una condotta subacquea è, infatti, enormemente più laborioso, lungo e costoso sia direttamente che indirettamente di quanto possa essere per una condotta a terra.

Le rotture a cui possono andare incontro le condotte subacquee nel corso della loro vita possono essere di due tipi:

- localizzate, per cui l'estensione della zona di danneggiamento è molto limitata e tale da rendere possibile la riparazione sul fondo potendo, sovente, mantenere le condotte in condizioni di esercizio;
- estese, per cui l'estensione della zona di danneggiamento è di entità considerevole e tale da rendere necessaria la sostituzione di più barre di tubo con conseguente necessità di dover interrompere l'esercizio delle condotte.

La pianificazione e realizzazione degli interventi di riparazione di condotte subacquee è comunque strettamente correlata alle profondità in gioco a cui sono direttamente associate le relative procedure operative che saranno profondamente dissimili a seconda che gli interventi ricadono nel basso fondale o nell'alto fondale.

In generale la vita tecnica media di una condotta subacquea in acciaio adibita al trasporto di acque reflue è stimata in circa 40 anni.

In casi particolari, e solo con un adeguato programma di ispezione e controllo periodico delle condotte con esito positivo, la vita tecnica potrà essere estesa al massimo sino a 50 anni.

Durante la vita di una condotta subacquea, il tasso di rottura subisce generalmente un'evoluzione che può essere spiegata in base a considerazioni fisiche più o meno intuitive sulle quali non è necessario dilungarsi in questa sede.

In linea del tutto generale, si possono classicamente distinguere tre fasi successive:

- 1) periodo iniziale, immediatamente susseguente la costruzione, generalmente di breve durata, in cui il tasso di rottura è normalmente decrescente in quanto gli elementi deboli del sistema o con gravi difetti strutturali "muoiono" relativamente presto;
- 2) periodo di funzionamento normale (maturità) in cui il tasso di rottura rimane praticamente costante; questa ipotesi, applicata al caso di condotte subacquee, conduce a modelli matematici della durata di vita particolarmente semplici (esponenziali);
- 3) periodo finale di usura (vecchiaia), in cui il tasso di rottura ricomincia a crescere per l'indebolirsi progressivo degli elementi più deboli; questo terzo meccanismo, che è caratteristico dei fenomeni di usura dei materiali, può essere descritto da svariati modelli matematici, fra i quali il più importante è la legge di Weibull.

Nel caso del collettore fognario in questione, si può considerare che il periodo di vecchiaia inizi intorno al 25° anno dalla posa subacquea.

Da quanto sopra si rileva che, al fine di prevenire eventuali rotture sulle condotte sub lacuali, o comunque per minimizzare il rischio di rottura nel periodo finale di usura, occorrerà programmare una serie di ispezioni periodiche e rilievi con frequenza via via crescente nel periodo finale di vecchiaia.

Nell'ottica di cui sopra e con l'obiettivo di mantenere in esercizio e in sicurezza le condotte sub lacuali più a lungo possibile, Acque Bresciane ha dato corso a specifiche ispezioni periodiche sul collettore ed eseguito tutta una serie di interventi straordinari di riparazione delle condotte al fine di portarle a raggiungere la loro fine vita in sicurezza, in attesa di realizzare un intervento di riqualificazione generale del sistema di raccolta dei reflui dell'intero bacino del lago di Garda.

I tempi di realizzazione di un simile intervento di riqualificazione generale, oltre che molto costosi, sono infatti molto lunghi e stimati in non meno di 10 anni.

ISPEZIONI INIZIALI

Nell'Aprile 2013, ovvero dopo circa 28 anni dalla posa delle condotte sul fondo del lago, Garda Uno (oggi Acque Bresciane) ha proceduto ad effettuare una video ispezione esterna dell'intero collettore che è stata eseguita dalla Ditta Video Production di Maderno con redazione della relativa Relazione finale in data 29/04/2014 da cui non sono emerse anomalie degne di essere attenzionate.

Nel Maggio 2016, sono state eseguite delle verifiche spessimetriche delle condotte subacquee in prossimità degli approdi, estese sino alle profondità di -18m (Toscolano Maderno) e di -38m (Torri del Benaco) Iano Maderno) da parte della Ditta Ecologia Soluzione Ambientale di Reggio Emilia mediante l'intervento del Raggruppamento Subacquei ed Incursori "Teseo Tesei" con produzione della relativa Relazione tecnica in data 13/06/2016.

Nei tratti investigati sono stati misurati su entrambe le condotte sub lacuali degli spessori d'acciaio residui sostanzialmente conformi a quelli nominali e pertanto non sono state evidenziate criticità di rilievo.

ATTIVITA' PROPEDEUTICHE

Tenuto conto delle modeste lunghezze dei tratti i cui sono state eseguite le verifiche spessimetriche, iniziali, considerata una probabile situazione di degrado del materiale unitamente a possibili rischi di criticità strutturali con conseguente pericolo di rilascio dei reflui nelle acque del lago, nel Novembre 2017 Garda Uno (oggi Acque Bresciane) ha dato corso ad una serie di ulteriori attività finalizzate ad un accertamento più

rigoroso e minuzioso dello stato di conservazione delle condotte costituenti il collettore dando incarico all'Ing. Graziano Falappa di Jesi.

Il lavoro iniziale è consistito nella catalogazione di tutti i dati tecnici esistenti agli atti relativi al progetto delle condotte sub lacuali oltre alla raccolta delle caratteristiche del tracciato "As-built" tratto dalla contabilità finale dei lavori dell'Ottobre 1988.

Tutti i disegni cartacei "As-built" sono stati quindi digitalizzati e georeferenziati e quindi trasposti dall'originario sistema di coordinate Gauss-Boaga nel nuovo sistema di riferimento satellitare RDN2008-TM32.

A tale scopo sono stati redatti specifici elaborati grafici contenenti i profili di posa del collettore sub lacuale unitamente ai dati e alle caratteristiche del tracciato di posa espresso in termini di coordinate piane e geografiche, distanze parziali e progressive, curvature, azimut, ecc.

Nel contempo, sono state eseguite specifiche analisi delle sollecitazioni (*Stress analysis*) agenti sulle condotte posate sul fondo del lago nell'attuale fase di esercizio che hanno consentito di individuare a livello numerico i tratti di condotta a maggiore criticità e pertanto da attenzionare con particolare cura sia a livello ispettivo che di rilievi.

Lungo l'intero tracciato del collettore sono state pertanto determinate le sollecitazioni statiche agenti sulle condotte adagate sul fondo del lago in rapporto al limite ammissibile del 72% della minima tensione di snervamento specificata del materiale (*Specified Minimum Yield Stress, SMYS*) fissato dalla norma DnV'81 "Rules for Submarine Pipeline Systems".

In particolare, sono state individuate n. 38 campate libere aventi una certa significatività in termini lunghezze e altezze tubo-fondo.

Per quanto riguarda lo stato di sollecitazione (*Working factor*) sono state invece individuate n. 8 tratte critiche, localizzate lungo la scarpata iniziale di Toscolano Maderno (n.3) e lungo la scarpata finale di Torri del Benaco (n.5), in cui viene superato il limite ammissibile.

In n. 2 tratte le condotte assumono piegature repentine con superamento del limite di snervamento del materiale e con ciò significando che le condotte risultano "plasticizzate" in queste zone sin dalla fase iniziale della loro posa in opera.

Al fine di valutare con un sufficiente grado di certezza lo stato di criticità del collettore nella configurazione attuale, è stata eseguita anche una analisi di sensibilità assumendo, proprio sulle base dei risultati ottenuti dalle precedenti verifiche spessimetriche, degli spessori d'acciaio "ridotti" delle condotte ipotizzando un inevitabile fenomeno di corrosione interna dopo circa 30 anni di esercizio.

Ciò ha portato, come del resto era ovvio attendersi, ad un generale incremento delle tratte critiche da attenzionare anche tramite specifiche e mirate misure degli spessori delle condotte sub lacuali.

In base a ciò, ne è scaturita anche la necessità di predisporre sia di un HAZID (*HAZard IDentification*) Study sulla base delle più accreditate normative internazionali di settore che di uno specifico Piano di Manutenzione, Ispezione ed Intervento delle condotte sub lacuali in grado di fornire sia i minimi requisiti per l'ispezione e la manutenzione periodica capace di prevenire o ridurre il rischio di eventuali danni alle condotte e sia lo strumento per selezionare le procedure ed i mezzi da usare in un'eventuale intervento di riparazione di emergenza delle condotte stesse (*E.P.R.S.- Emergency Procedure Repair System*).

MISURE E ACCERTAMENTI SUSSEGUENTI

Nel Marzo 2017 è stata pertanto redatta dall'Ing. Falappa una specifica di dettaglio per le misure degli spessori e per gli accertamenti e le ulteriori indagini delle condotte sub lacuali in determinate sezioni (sia sulla condotta Nord che su quella Sud) ubicati proprio lungo le scarpate, in prossimità degli approdi, in cui erano state rilevate le maggiori criticità in termini di stress e comunque entro le profondità massime di -30,0m.

I lavori di rilievo e accertamenti susseguenti sono stati affidati alla Soc. Carmar Sub di Ancona e si sono svolti attraverso le seguenti fasi principali:

- a) Misure spessimetriche

L'attività è iniziata il giorno 8/05/2017 ed è stata ultimata il giorno 13/05/2017.

Si è proceduto inizialmente ad eseguire una precisa misurazione degli spessori d'acciaio delle condotte in alcuni punti caratteristici fissati dalla specifica.

Tutte le operazioni sono state documentate con puntuali riprese video-fotografiche.

Dalla successiva analisi dei dati è emerso che in tutte le sezioni delle condotte (sia Nord che Sud) sono stati misurati degli spessori d'acciaio corrispondenti mediamente agli spessori nominali di progetto pari a 13,50 mm e, in alcuni casi, perfino superiori sulle base delle tolleranze ammesse dalla normativa.

Una banale analisi dei dati porterebbe a concludere che il fenomeno della corrosione non apparirebbe preoccupante, tanto più che le misure di potenziale effettuate sia all'approdo di Toscolano Maderno che all'approdo di Torri del Benaco fornivano risultati ottimi, perfettamente coerenti con i valori attesi in base al sistema di protezione catodica a corrente impressa, segno evidente che il sistema era ancora perfettamente funzionante a distanza di tanti anni dall'avvio dell'esercizio e che l'impianto di protezione era stato sempre correttamente gestito da Garda Uno (oggi Acque Bresciane).

b) Accertamenti e indagini delle vaiolature

Dall'analisi di dettaglio delle riprese video-fotografiche effettuate puntualmente in corso d'opera dall'Ing. Falappa, unitamente a tutta una serie di più approfonditi riscontri subacquei, veniva ordinato agli operatori di effettuare una accurata pulizia delle superfici esterne delle condotte sub lacuali in alcune specifiche sezioni di tubo liberandole dal *fouling* e dalle incrostazioni presenti.

Nei giorni 12/05/2017 e 13/05/2017 venivano quindi sorprendentemente rilevati sulle superfici esterne delle condotte (sia Nord che Sud) svariati aggregati e bio-costruzioni, inglobati all'interno di più estese zone di *fouling* e vegetazione acquatica che, distribuiti in modo del tutto casuale sull'intera circonferenza dei tubi, ricoprivano lo strato superficiale di entrambe le condotte, altrimenti pressoché impossibili da scorgere.

Le dimensioni di tali aggregati biocostruiti risultavano oscillanti tra i 4-8 cm alla base con elevazioni medie di 3-5 cm dalla superficie esterna del tubo.

Al semplice tatto manuale da parte dei sommozzatori e, in qualche caso con l'ausilio di raschietti, veniva rilevato che gli stessi si staccavano agevolmente dalla superficie del tubo, portando a vista un evidente fenomeno di biocorrosione delle tubazioni in acciaio dovuto a *pitting* e vaiolatura.

Una analisi ancora più accurata eseguita dai sommozzatori evidenziava che alcune zone di *pitting* e vaiolatura risultavano già "a vista", segno evidente che gli aggregati e le biocostruzioni da cui era scaturito il fenomeno si erano già staccate naturalmente dalle superfici esterne.

Preso atto di ciò, sono stati tempestivamente ordinati ulteriori accertamenti e indagini subacquee di maggiore dettaglio su entrambe le condotte subacquee che sono iniziati il giorno 29/05/2017 estesi lungo la scarpata in prossimità dell'approdo di Toscolano Maderno.

Nel tratto di condotta posata sino alla profondità di circa -38,0 m sono stati individuati complessivamente circa n. 55 punti di vaiolatura (*pitting*) sulle due condotte, di cui n. 25 ritenute critiche.

Pur nella difficoltà di eseguire una precisa misurazione degli spessori d'acciaio residui in corrispondenza dei punti di vaiolatura e/o delle cavità che si erano formate a causa della loro configurazione a "V", gli stessi sono risultati estremamente variabili, oscillanti mediamente tra i 3,0-4,0 mm sino a 8,0-10,0 mm.

A causa della piccola estensione delle vaiolature non si poteva tuttavia escludere che in alcune di esse si fossero già formati dei microfori sul tubo.

I medesimi accertamenti e indagini subacquee di dettaglio sono quindi proseguite anche lungo la scarpata in prossimità dell'approdo di Torri del Benaco.

Nel tratto che si estende sino alla profondità di circa -32,0 m sono stati individuati complessivamente n. 4 punti di bioconcrezioni che, una volta rimosse, non presentavano però sottostanti vaiolature sulle condotte e/o segni evidenti della loro presenza, salvo in un solo caso.

La criticità di quanto rilevato sta nel fatto che il fenomeno di biocorrosione delle tubazioni in acciaio dovuta a *pitting* e vaiolatura non è assolutamente contenibile o controllabile da nessun sistema di protezione catodica sia esso a correnti impresse (come quello attuale) o a mezzo di anodi sacrificali.

Contestualmente alle suddette ispezioni, il giorno 31/05/2017 sono stati anche raccolti da parte dei sommozzatori alcuni campioni di bioconcrezioni in accordo alle metodiche indicate dal Biologo responsabile del Laboratorio di Analisi Industriali e Ambientali del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale dell'Università degli Studi di Brescia specificatamente incaricata da Acque Bresciane onde poter procedere ad effettuare le analisi tese ad individuare e ad accertare la tipologia e la natura dei ceppi batterici che hanno generato il fenomeno di biocorrosione sulle condotte sub lacuali.

INTERVENTI STRAORDINARI DI MESSA IN SICUREZZA IN BASSO FONDALE

Preso atto di quanto rilevato, nel Giugno 2017 si è passati ad effettuare urgentemente una prima serie di interventi localizzati di riparazione su entrambe le condotte sub lacuali in basso fondale ottenuti mediante l'installazione subacquea di speciali giunti di clampaggio esterni posti in corrispondenza dei punti di vaiolatura più critici.

I lavori sono stati eseguiti dalla Soc. Carmar Sub di Ancona, sotto la Direzione dell'Ing. Falappa.

Gli interventi sono iniziati all'approdo di Toscolano Maderno, previa asportazione delle bioconcrezioni con raschietti e accurata pulizia delle superfici con spazzole, con successiva applicazione di resine epossipoliamiche su circa n. 40 punti di vaiolatura e sigillatura di tutte le cavità nei possibili punti di perdita.

Sono stati quindi identificati tutti i punti in cui lo spessore meccanico resistente residuo dell'acciaio era risultato inferiore al 50% di quello nominale, punti su cui, sono stati effettuati i successivi interventi di clampaggio.

A partire dal giorno 19/06/2017 si è dato quindi corso all'installazione di n. 16 clampe all'approdo di Toscolano Maderno che hanno interessato le vaiolature ritenute critiche, precisando che, data l'estrema vicinanza di alcune di esse, con una stessa clampa sono state "coperte" più di una vaiolatura.

Successivamente si è passati ad effettuare il medesimo intervento all'approdo di Torri del Benaco dove è stata installata n. 1 sola clampa.

ISPEZIONI VISIVE GENERALI

Al fine di inquadrare correttamente tutte le problematiche relative all'accertamento dello stato di conservazione delle condotte sub lacuali in questione, nel mese di Giugno 2017 sono state eseguite da parte della Soc. Carmar Sub di Ancona delle ispezioni visive delle condotte estese sino a -120 m di profondità (definita come "Zona 1") tramite un veicolo teleguidato ROV (*Remote Operated Vehicle*) supportato da un opportuno mezzo navale dotato di tutte le attrezzature necessarie per la movimentazione e l'imbarco della strumentazione a bordo correlata alla lunghezza, all'ingombro e al peso del cavo ombelicale utilizzato, in grado di operare sino alla profondità massima in "Zona 1".

Per poter raggiungere la massima profondità di posa delle condotte, pari a circa -247,0 m (al P.K. 5+028), sarebbe stato necessario prevedere l'uso di un cavo ombelicale di particolare sezione avente una lunghezza di circa 450 m, il cui peso e dimensioni del rocchetto sarebbero state però del tutto incompatibili con la struttura del mezzo navale disponibile in tempi brevi sul lago di Garda.

Secondo la documentazione "*As-built*" all'approdo di Toscolano Maderno la profondità d'acqua di circa -120 m si raggiunge al P.K. 0+596, mentre all'approdo di Torri del Benaco la stessa profondità si raggiunge al P.K. 6+996.

Conseguentemente considerando di effettuare un'ispezione visiva a partire dalla profondità di circa -30 m sino alla profondità di circa -120 m sono state determinate le seguenti lunghezze parziali:

- 292 m (dal P.K. 0+304 al P.K. 0+596) all'approdo di Toscolano Maderno
- 256 m (dal P.K. 6+996 al P.K. 7+252) all'approdo di Torri del Benaco.

La lunghezza complessiva investigata è stata pertanto pari a circa 548 m (1.096 mt complessivi considerando che si tratta di due tubazioni parallele).

I risultati delle ispezioni video in entrambe le "Zone 1" dei due approdi hanno mostrato ancora una volta che le condotte sub lacuali maggiormente interessate dal fenomeno delle vaiolature erano quelle lungo la scarpata dell'approdo di Toscolano Maderno piuttosto che quelle di Torri del Benaco.

In particolare, all'approdo di Toscolano Maderno, nel tratto compreso tra l'ultimo intervento di clampaggio eseguito in basso fondale sino alla massima profondità, venivano individuati circa n. 20 punti con presenza di concrezioni significative con ragionevoli punti di vaiolatura, tendenti progressivamente a diminuire e a scomparire man mano che la profondità aumentava.

L'entità delle vaiolature e la loro criticità si sarebbe comunque potuta accertata solo ed esclusivamente con un intervento mirato da eseguirsi inevitabilmente da parte di sommozzatori in saturazione iperbarica.

ANALISI DI RISCHIO

Per meglio delineare l'insieme delle problematiche nel Giugno 2017 è stata quindi redatta dall'Ing. Falappa una analisi di rischio finalizzata all'accertamento dello stato di conservazione delle condotte sub lacuali.

A livello generale l'analisi di rischio consiste nella stima della frequenza di un evento e della valutazione delle conseguenze dell'evento. In questo tipo di analisi il rischio è pertanto definito come il prodotto della probabilità di occorrenza per le conseguenze di un evento accidentale.

Per quanto riguarda le condotte subacquee, l'evento accidentale è un danno (*failure*) che può compromettere l'integrità o il livello di sicurezza della condotta stessa.

Per eseguire l'analisi di rischio vanno pertanto considerare tutti i possibili incidenti (*hazard*) che possono avvenire causando danni all'opera e per ognuno di essi è stata calcolata (o stimata) la probabilità di occorrenza.

La probabilità di rottura viene poi suddivisa in classi, tipicamente da 1 (bassa probabilità) a 5 (alta probabilità). In modo analogo vengono calcolate (o stimate) le conseguenze della rottura e anch'esse vengono raggruppate in classi, tipicamente da 1 (conseguenze leggere, non critiche) a 5 (conseguenze pesanti, critiche).

Ad ogni causa iniziatrice, definita come quell'evento che potrebbe minacciare l'integrità delle condotte subacquee e portare al rilascio del prodotto trasportato, viene quindi applicata la relativa matrice di rischio (probabilità di accadimento / conseguenze) con cui viene stabilito se un determinato rischio è da ritenersi accettabile o inaccettabile secondo nome e procedure internazionali (DnV-RP-F116, "*Integrity management of submarine pipeline systems*").

In particolare, nel caso delle condotte sub lacuali in questione, l'analisi generale di rischio è stata eseguita applicando la seguente metodologia:

- Adozione di una matrice di rischio
- Identificazione delle cause iniziatrici
- Valutazione della probabilità di accadimento di ogni causa iniziatrice ritenuta rilevante

- Valutazione delle conseguenze
- Definizione del livello di rischio attraverso la matrice di rischio
- Identificazione, se necessario, delle contromisure già adottate o da adottare per minimizzare il livello di rischio.

La matrice di rischio è stata definita identificando varie categorie di probabilità di accadimento, varie categorie di conseguenze e vari livelli di rischio.

Le categorie di probabilità di accadimento sono state distribuite sulle righe della matrice, mentre le categorie delle conseguenze sono state distribuite sulle colonne della matrice.

Successivamente si è passati alla identificazione delle cause iniziatrici che possono determinare un problema di integrità dell'opera.

Le cause iniziatrici prese in esame sono state molte, ma non tutte sono risultate rilevanti per l'opera in oggetto.

Per ogni causa iniziatrice ritenuta rilevante per le condotte subacquee è stata poi analizzata stabilendo:

- La probabilità di accadimento di un possibile danno
- Le conseguenze associate al danno
- Il livello di rischio conseguente alla probabilità di accadimento e alle conseguenze, utilizzando la matrice di rischio adottata.

Se il livello di rischio risulta inaccettabile, sono necessarie delle contro misure che consentano di ridurre il rischio ad un livello accettabile.

Nel caso di condotte subacquee in acciaio in questione che trasportano acque reflue i principali danni possono essere causati da:

- corrosione interna della parete del tubo causata dall'interazione chimica tra il fluido trasportato e l'acciaio;
- corrosione esterna causata dall'invecchiamento e distacco dello strato di protezione esterna che consente all'acqua e ad altri elementi biologici di venire a contatto con l'acciaio;
- erosione interna causata dalle particelle solide contenute nel fluido trasportato all'interno delle condotte ad alta velocità che attraverso continui impatti riduce nel tempo lo spessore di parete dell'acciaio;
- interferenza con dispositivi di pesca con possibili spostamenti e trascinamenti laterali delle condotte non ammissibili;
- agganci e strappi delle condotte generati da ancoraggi con possibili spostamenti sia laterali che verticali non ammissibili nella fase di recupero dell'ancora oppure dovute a imbarcazioni ancorate in avaria;
- impatti causati dagli scafi delle imbarcazioni con possibili schiacciamenti e deformazioni delle condotte;
- impatti generati dalla caduta accidentale di oggetti sulle condotte;
- interferenze con cavi e con altre condotte subacquee;
- attraversamenti di aree con presenza di residui bellici che possono esplodere in prossimità delle condotte;
- interferenza con aree di esercitazioni militari con rischio di caduta di ordigni potenzialmente esplosivi;
- movimentazione di suoli dovuti a frane subacquee, smottamenti e terremoti;
- atti di vandalismo;

- instabilità sul fondo delle condotte dovute a condizioni estreme di moto ondoso e correnti con possibili danneggiamenti e asportazione dei sistemi di zavorramento, di ancoraggio e di appesantimento;
- carichi statici eccessivi con possibile collasso delle condotte per schiacciamento e superamento dei valori ammissibili di sollecitazione sul materiale;
- rottura per fatica delle condotte in presenza di difetti di corrosione in corrispondenza di campate libere soggette a vibrazioni e oscillazioni a causa del regime medio di onde e correnti;
- adozione di procedure di lavoro non corrette o non applicate correttamente associate ad errori umani;
- difetti di fabbricazione, di posa, di saldatura delle condotte;
- malfunzionamenti del sistema di esercizio.

Nella tabella che segue vengono sintetizzati i risultati dell'analisi di rischio eseguita sul collettore in questione, con le relative raccomandazioni, contenente i seguenti dati:

- Causa iniziatrice
- Valore stimato di presenza o meno del rischio, indicato come:
 - "S" = rischio presente
 - "N" = rischio assente
 - "NR" = rischio non rilevante perché la probabilità di accadimento è ritenuta avere probabilità di accadimento trascurabile
- La descrizione del danno o dell'anomalia provocati dalla causa iniziatrice
- Misure protettive attive che riducono o annullano il rischio
- La stima della probabilità di accadimento "P" riferita alla matrice di rischio, indicata come:
 - "1" = non attesa
 - "2" = remota
 - "3" = avvenuta almeno una volta in opere simili
 - "4" = avvenuta varie volte in opere simili
 - "5" = si verifica varie volte l'anno
- La stima delle conseguenze "C" riferita alla matrice di rischio, indicata come:
 - "A" = estese
 - "B" = severe
 - "C" = moderate
 - "D" = minime
 - "E" = nessuna o superficiali
- Il livello di rischio "R" risultante dalla Probabilità di accadimento e dalle Conseguenze in base alla matrice di rischio
- Eventuali raccomandazioni per ridurre se possibile il rischio stimato.

Causa iniziatrice	S/N/NR	Danno o anomalia	Misure protettive	P	C	R	Raccomandazioni
Corrosione Interna	S	Foratura della condotta con conseguente perdita del contenuto		2	A	Medio	Eeguire, dove possibile, misure periodiche di spessore
Corrosione Esterna	S	Foratura della condotta con conseguente perdita del contenuto	Sistema di Protezione catodica	3	A	Molto Alto	Identificare tutte le zone con presenza di biocorrosione, applicare sistemi di protezione dell'acciaio temporanei e programmare eventuali interventi definitivi sulla base di uno specifico Manuale Operativo
Erosione Interna	N						
Interferenza con dispositivi di pesca	S	Danneggiamenti al rivestimento esterno e all'acciaio	Condotta interrata sotto costa	1	E	Molto Basso	Raccogliere maggiori informazioni sui dispositivi di pesca e sulle zone con divieto di pesca
Ancoraggi	S	Danneggiamenti al rivestimento esterno e all'acciaio	Condotta interrata sotto costa	1	E	Molto Basso	Raccogliere maggiori informazioni sulle dimensioni delle ancore e sulle profondità massime di ancoraggio previste per le imbarcazioni operanti sul lago
Impatti causati da imbarcazioni	S	Deformazioni locali, spostamenti eccessivi	Condotta interrata sotto costa	1	A	Basso	
Caduta oggetti	NR						
Attraversamenti di cavi	N						
Residui bellici	S	Possibili esplosione e conseguente danneggiamento o rottura della condotta		1	A	Basso	
Zone di esercitazione militare	N						
Traffico (Impatto da veicoli, vibrazioni)	N		Condotta interrata				
Altri impatti meccanici	N		Condotta interrata				
Movimentazione suoli	N						
Vandalismo	N		Condotta interrata, Impianti recintati				

Causa iniziatrice	S/N/NR	Danno o anomalia	Misure protettive	P	C	R	Raccomandazioni
Instabilità da elevata pressione e temperatura di trasporto	N						
Stabilità sul fondo	N						
Carichi statici eccessivi	S	Rottura della condotta		2	A	Medio	Eseguire una survey esterna con strumenti per il rilievo del profilo attuale con successiva verifica di <i>stress analysis</i>
Fatica	NR						
Condizioni estreme meteo – lacuali	NR		Condotta interrata agli approdi				
Terremoto	S	Possibili danneggiamenti localizzati in corrispondenza delle zone di interfaccia tra zona interrata e non		1	C	Basso	Verificare a valle di terremoti lo stato della condotta in corrispondenza delle zone di interfaccia agli approdi
Frane	NR						
Allagamenti e piogge abbondanti	NR						
Fulmini	S	Danneggiamento delle parti fuori terra della condotta	Sistema di messa a terra	1	E	Molto Basso	
Procedure di lavoro non corrette e errori umani	S	Danneggiamento del sistema di trasporto	Procedure di lavoro, Personale Qualificato	1	D	Molto Basso	
Malfunzionamenti del sistema	S	Danneggiamento del sistema di trasporto	Procedure di lavoro, Personale Qualificato	1	D	Molto Basso	
Difetti di fabbricazione	NR						
Difetti di saldatura	NR						
Materiale e sistemi di posa non rimossi al termine dei lavori	S	Possibili conseguenze sulle persone che si trovano in superficie		1	A	Basso	Rimuovere se possibile i galleggianti ancora presenti

Dall'analisi eseguita è scaturito che nel caso specifico solo il rischio di corrosione esterna risulta essere molto alto e quindi inaccettabile con la necessaria conseguenza di eseguire misure mitigative atte a evitare possibili fuoriuscite del fluido trasportato.

Il livello di rischio stimato per corrosione interna e carichi statici eccessivi è invece risultato essere medio con le raccomandazioni di eseguire solo alcune misure di controllo periodico per mantenere le condizioni di integrità delle condotte.

Tutti gli altri livelli di rischio sono invece risultati bassi o molto bassi.

In definitiva secondo le norme e procedure internazionali sopra indicate, è risultato che il gestore delle condotte subacquee Acque Bresciane dovrà attuare tutte le azioni e le misure mitigative per mantenere o ridurre il rischio ad un livello accettabile solo limitatamente al fenomeno della corrosione esterna (in questo caso il fenomeno di *pitting* dovuto a biocorrosione).

PIANO DI MANUTENZIONE, ISPEZIONE E INTERVENTO

Preso atto delle problematiche emerse nel corso delle ispezioni visive sulle condotte sub lacuali, nel Luglio 2017 è stata redatto dall'Ing. Falappa anche uno specifico Piano di Manutenzione, Ispezione e Intervento al fine di fornire ad Acque Bresciane sia i minimi requisiti per l'ispezione e la manutenzione periodica capace di prevenire o ridurre eventuali danni e sia lo strumento per selezionare le procedure e i mezzi da usare in un eventuale intervento di riparazione di emergenza delle condotte stesse (*E.P.R.S.- Emergency Procedure Repair System*).

Con questo Piano sono state programmate tutta una serie di ispezioni e controlli periodici sulle condotte con frequenze diverse in funzione del periodo iniziale (maturità attuale) decorrente dall'ultimazione degli interventi straordinari di messa in sicurezza già eseguiti in basso fondale e del periodo di maturità residuo.

Le ispezioni periodiche previste nel Piano sono essenzialmente di due tipi:

- visiva esterna in basso fondale;
- visiva esterna e strumentale in alto fondale.

Per ognuna delle ispezioni suddette sono stati definiti gli *spread* operativi in termini di mezzi navali, strumentazione, mezzi subacquei, personale specializzato, ecc.

In funzione dei risultati ottenuti dalle ispezioni e rilievi periodici, sono stati quindi pianificati anche gli eventuali interventi di riparazione, considerando i seguenti scenari:

- a) la rottura, o l'estensione della probabile area di danneggiamento, è molto limitata e tale da rendere possibile la riparazione sul fondo delle condotte tramite idonei giunti a collare, mantenendo le condotte stesse in condizioni di esercizio;
- b) la rottura, o l'estensione della probabile area di danneggiamento, è di entità considerevole e tale da rendere necessaria la sostituzione di più barre di tubo delle condotte.

La pianificazione dei suddetti interventi è strettamente correlata alle profondità in gioco a cui sono associate le relative procedure operative che saranno profondamente dissimili a seconda che gli interventi ricadono nel basso fondale o nell'alto fondale.

Per ognuno dei possibili interventi sono state quindi definite, in linea del tutto generale, anche le procedure operativa che dovranno essere attuate, unitamente ai costi e ai tempi di intervento oltre all'eventuale fuori esercizio dell'impianto.

INTERVENTO DI ISPEZIONE E DI RIPARAZIONE IN ALTO FONDALE

Nel Settembre 2017 è stato quindi redatto dall'Ing. Falappa il progetto esecutivo degli interventi di riparazione in alto fondale localizzati sulle condotte sub lacuali prevedente anche i servizi di ispezioni periodiche.

A seguito di gara d'appalto i lavori sono stati affidati all'Impresa mandataria Drafinsub di Genova.

L'intervento è scaturito da tutta una serie di accertamenti tecnici effettuati con estremo rigore nel mese di Maggio 2017 mediante un veicolo filoguidato ROV (*Remote Operated Vehicle*) nell'ambito del succitato Piano di Manutenzione, Ispezione ed Intervento delle condotte sub lacuali capace di prevenire o quanto meno ridurre eventuali rischi di rottura delle condotte sub lacuali.

Come già anticipato, nell'ambito di tale Piano è stata inaspettatamente rilevata per la prima volta la presenza di alcune bioconcrezioni generate da particolari batteri, presenti nelle acque del lago, che si dispongono sulla superficie esterna delle condotte fognarie sub lacuali a cui è associato un evidente fenomeno di biocorrosione o MIC (*Microbiological Induced Corrosion*) che interessa entrambe le condotte in acciaio per "pitting" e vaiolatura determinando così la formazione di veri e propri "crateri" e/o cavità sull'acciaio che progressivamente portano ad una fortissima riduzione locale degli spessori resistenti delle tubazioni sino a determinare dei veri e propri "buchi" sulle stesse con conseguente pericolo di perdita e di sversamento dei reflui trasportati direttamente nel lago di Garda.

All'interno della cosiddetta "Zona 1" posta sul versante di Toscolano Maderno che va dalla profondità di circa -40m sino alla profondità di circa -120m ed avente una lunghezza di circa 250m in cui è stato programmato l'intervento di sommozzatori in saturazione iperbarica in accordo alle vigenti norme di sicurezza e tutela della salute nelle attività subacquee (UNI 11366 "Sicurezza e tutela della salute nelle attività subacquee ed iperbariche professionali al servizio dell'industria") sono stati inizialmente individuati circa n. 20 punti con presenza di bioconcrezioni significative disposte sulle superfici esterne di entrambe le condotte sub lacuali a cui erano stati associati dei probabili sottostanti crateri e/o cavità sull'acciaio costituente le tubazioni.

All'interno della "Zona 1" posta sul versante di Torri del Benaco non è stata, invece, riscontrata la presenza di alcuna bioconcrezione.

Nel mese di Dicembre 2018, ad appena 18 mesi dalla precedente ispezione, sempre mediante veicolo filoguidato ROV, sono state eseguite nuove ed ulteriori ispezioni e rilievi subacquei specifici che hanno interessato l'intera lunghezza del collettore fognario che hanno messo in luce in maniera ancora più inaspettata la presenza di un numero di bioconcrezioni molto superiore rispetto a quelle precedentemente rilevate e, soprattutto, non solo distribuite su entrambi i versanti di Toscolano Maderno e di Torri del Benaco, ma estese anche a profondità ben maggiori, comprese tra circa -120m sino a circa -180m ("Zona 2"), andando così ad interessare dei tratti di condotta molto più estesi rispetto a quello iniziale.

Dall'analisi dei risultati è emerso che, complessivamente (all'interno delle "Zone 1" e "Zone 2" di Toscolano Maderno e Torri del Benaco aventi una lunghezza di circa 1.660m), sono stati rilevati oltre n. 150 punti con presenza di significative bioconcrezioni disposte sulle superfici esterne di entrambe le condotte sub lacuali sulle quali è stato necessario intervenire urgentemente.

Infatti, in un così breve lasso di tempo, la riduzione dello spessore meccanico resistente delle condotte aveva già raggiunto il 50-60% rispetto a quello originario; inoltre è stato riscontrato, sempre nello stesso breve periodo, un fortissimo incremento della concentrazione batterica all'interno delle concrezioni stesse.

a) Generalità

Per poter intervenire fino alla profondità massima di oltre 180m è stata scelta la tecnica delle immersioni in saturazione iperbarica che è la massima espressione del lavoro subacqueo visto che necessita di sofisticati equipaggiamenti e di personale altamente specializzato.

Per lavorare con la tecnica della saturazione si devono utilizzare impianti alto fondale costituiti da camere iperbariche interconnesse nelle quali soggiornano, per tutta la durata delle operazioni, gli operatori subacquei permanendo in ambiente iperbarico.

Gli operatori vengono compressi alla quota di fondo all'interno dell'impianto iperbarico e lì vivono per l'intera durata del lavoro, l'impianto è quindi dotato di servizi, letti, passa-oggetti e tutto quanto serve per permettere la vita del personale in iperbarismo.

Gli operatori vengono poi organizzati in coppie per poter raggiungere la quota di lavoro sul fondo del lago per mezzo di una camera iperbarica chiamata campana d'immersione.

A fine turno gli operatori risalgono in superficie per mezzo della campana rimanendo sempre in pressione.

Al termine del ciclo di lavoro, che può durare fino ad un massimo di 28 giorni continuativi il gruppo viene decompresso. In genere la decompressione da saturazione è molto lunga e può durare, per immersioni sui 200 metri circa 6-7 giorni.

Questo tempo può sembrare molto lungo, ma se si utilizzasse una tecnica differente, e si sommasse il tempo necessario alle decompressioni di ogni immersione si scoprirebbe che il tempo di decompressione sarebbe molto più lungo.

Il concetto fisico che sta alla base della tecnica ha le sue radici nella legge di Henry: "a temperatura costante la quantità di gas che può sciogliersi in un liquido è direttamente proporzionale alla pressione parziale del gas stesso".

Si assume, con buona approssimazione, che il corpo umano sia considerato come un liquido e allora il volume di gas disciolto dipenderà dal volume del liquido e dalla pressione con cui il gas preme su di esso e non dal tempo.

Questo elemento è molto importante perché il fattore tempo perde valore nel computo dei tempi di risalita dei sommozzatori, e la durata è funzione esclusivamente della quota raggiunta.

Inoltre, le miscele che vengono utilizzate negli impianti di saturazione iperbarica sono miscele sintetiche, costituite principalmente da elio e ossigeno.

L'eliminazione dell'azoto fa sì che vengano eliminati tutti quei problemi che l'azoto può causare in quota: narcosi, embolie, densità troppo elevata con conseguente difficoltà respiratoria. Inoltre, l'ossigeno pur essendo necessario al metabolismo umano, a pressioni parziali elevate diviene tossico e addirittura mortale (iperossia).

Quindi a profondità elevate si utilizzano miscele molto povere di ossigeno, comprese fra il 2 e il 5 %.

Per tutta la durata dell'intervento una ventina di tecnici a bordo pontone operanti su turni di dodici ore si devono alternare per portare avanti le operazioni e lavorazioni e fornire assistenza e supporto ai sommozzatori in saturazione.

Infatti, alcuni tecnici sono dedicati al funzionamento dell'impianto di saturazione in alto fondale mentre altri alla gestione dei mezzi navali e del pontone.

La vita dell'impianto alto fondale e la sua direzione è assunta di norma da due tecnici, il Life Support Supervisor e il Diving Supervisor che operano all'interno della control room dalla quale gestiscono le miscele respiratorie, le pressioni, le analisi e tutto quanto serve alla vita ed al benessere del personale in pressione.

Tutte le operazioni subacquee sono dirette da un Diving Supervisor che comunica per tutta la durata dell'immersione con il sommozzatore con una radio e riceve la voce del sommozzatore. Alle spalle del sommozzatore in assistenza c'è sempre un ROV che riprende tutte le operazioni, per ragioni di sicurezza e anche per aiutare il sommozzatore durante l'immersione ad individuare i punti della condotta danneggiati.

Quando il sommozzatore è a fondo è collegato alla campana d'immersione tramite un ombelicale e la campana è collegata a sua volta alla superficie per mezzo di un altro ombelicale che trasporta i gas respiratori, l'acqua calda, le comunicazioni, i video e i pneumo che servono a far sapere in ogni momento al Diving Supervisor a quale quota batimetrica si trova il sommozzatore.

Tutte le operazioni vengono condotte con attrezzature ipertecnologiche che prevedono per ogni situazione di emergenza che viene presa in considerazione nell'analisi del rischio un numero appropriato di sicurezze, quali ad esempio:

- sollevamento campana;
- depurazione anidride carbonica;
- acqua calda al sommozzatore.

Dopo che i sommozzatori escono dall'impianto di saturazione inoltre devono essere soggetti ad una fase della durata di 24 ore, chiamata *debubbling*, durante la quale sono soggetti ad un periodo di osservazione e non possono allontanarsi dall'impianto di saturazione poiché, in caso di malessere, devono essere immediatamente ricompresi alla pressione di fondo per evitare problematiche dovute alla variazione di pressione.

b) Descrizione dell'equipaggiamento utilizzato

La prima fase di lavoro di lavoro ha avuto inizio a Gennaio 2019 con la mobilitazione di una serie di cassoni galleggianti da assemblare tra loro sino a formare un pontone modulare di appoggio di tutte le attrezzature di superficie necessarie all'esecuzione dei lavori iperbarici ed ha visto l'impiego di:

- n. 1 gru idraulica con 250 ton di portata e 60 metri di braccio;
- n. 32 bilici che hanno trasportato un totale di 350 tonnellate di attrezzature;
- n. 1 pontone modulare che assemblato ha portato ad una configurazione di 20x24 m di ponte disponibile, depth 1,50 m, draft 1,20 m;

- n. 12 tecnici specializzati nel montaggio delle nostre attrezzature fra cui carpentieri e saldatori, elettricisti e meccanici.

Nel progetto sono stati eseguiti tutti i calcoli di stabilità del pontone secondo le più severe condizioni di carico. I risultati ottenuti soddisfano completamente l'altezza metacentrica minima in accordo ai regolamenti RINA per la classificazione delle navi (RINA: *Rules for Classification of Naval Ships – Part b – Hull and Stability*).

La robustezza longitudinale del pontone (*Deck Strength*) è stata calcolata per verificare l'adeguatezza del ponte del pontone galleggiante durante tutte le fasi operative previste per assicurare il rispetto dei regolamenti RINA relativamente agli equipaggiamenti posizionati a bordo.

Tutte le analisi sono state sviluppate utilizzando specifici software di ingegneria navale (*Maxsurf Hydromax Advanced*).

L'equipaggiamento di alto fondale che è stato installato a bordo del pontone era costituito da una serie di moduli containerizzati che include i seguenti componenti principali:

- Campana d'immersione da 2/3 operatori
- A-Frame per la messa a lago e recupero campana
- Container verricelli che include:
 - Verricelli principale campana (doppio motore, doppio sistema di frenaggio, man-riding con carico ammissibile di 8 tons);
 - Verricelli guida-cavi utilizzabile come sistema primario di emergenza per il sollevamento campana;
 - Verricelli di emergenza secondario;
 - 4 motori idraulici integrati in centralina
- Container da 20" contenente la camera di decompressione *Transfer Under Pressure* equipaggiata con i servizi sanitari e la *Entry Lock* equipaggiata con il sistema di condizionamento e un *medical lock* (passa oggetti)
- Container da 20" contenente la camera di decompressione Main Lock equipaggiata con 4 letti e *material lock*
- Camera di emergenza *Hyperbaric Rescue Chamber* (HRC)
- Sistema di lancio dell'HRC dedicato
- Container 20" contenente la cabina di controllo Diving e saturazione
- Container 20" (flat rack) contenente il sistema di *Fire Fighting*
- Container 20" contenente il sistema di riscaldamento acqua ai divers e integrata officina
- Container 8" contenente un sistema di condizionamento ambientale dell'impianto.

L'impianto è stato montato a bordo seguendo un layout per immersione fuori bordo.

Il secondo livello dell'impianto montato a bordo del pontone è stato dedicato in particolare alla control room che è il cuore dell'impianto; dalla cabina vengono gestite, grazie al Life Support Supervisor e al Diving Supervisor, tutte le operazioni svolte dall'impianto.

L'impianto ha ottenuto le seguenti conformità:

- RINA Rules for the Classification of Underwater Units
- IMCA D024
- ASME Safety Standards for Pressure Vessel for Human Occupancy -1-2007
- IMO Res. A.692 (17) Guidelines and Specifications for Hyperbaric Evacuation Systems.
- IMO Res A.831(19) Code of Safety for Diving System
- ASME: Boiler and Pressure Vessel Code 2007, Part VIII Division 1
- UNI 11366: Sicurezza e tutela della salute nelle attività subacquee ed iperbariche professionali al servizio dell'industria (in vigore da Giugno 2010).

E' stato previsto un idoneo sistema di evacuazione in emergenza dei sommozzatori in saturazione.

Infatti, durante le attività in saturazione nel caso in cui si dovesse fronteggiare una incontrollabile situazione di emergenza, i sommozzatori in saturazione dovranno essere evacuati dal pontone.

Per questo l'uso di una *Hyperbaric Rescue Chamber* permette una sicura evacuazione dei sommozzatori, particolarmente in caso di:

- incendio non controllabile a bordo
- pontone in affondamento.

L'HRC è stata quindi connessa al sistema per offrire la possibilità di effettuare un'evacuazione iperbarica nel caso di inaspettata e incontrollabile emergenza. Questa può ospitare 4/6 sommozzatori. In caso di evacuazione iperbarica, l'HRC, una volta "ammarata", può essere rimorchiata fino alla riva dove è stato previsto un Hyperbaric Reception Spread pronto a riceverla per controllare la decompressione di emergenza dei sommozzatori. Una volta che l'HRC con i sommozzatori evacuati al suo interno, ha raggiunto la località assegnata, per mezzo di una gru è sollevata fuori dall'acqua e posizionata in un'area dedicata, dove l'LSP viene connesso e vengono controllati e mantenuti nei range i parametri vitali.

c) Descrizione dell'intervento

La fase operativa degli interventi di riparazione delle condotte sub lacuali è stata eseguita dal 18 Febbraio al 16 Marzo 2019, per circa un mese.

Le principali attrezzature mobilitate per gli interventi sono state:

- Motobarca di appoggio alle operazioni subacquee;
- Rimorchiatore di appoggio al pontone modulare;
- Pontone modulare con larghezza 20 m e lunghezza 24m come sopra descritto;
- Impianto iperbarico di saturazione come sopra descritto idoneo per operazioni fino a 200m di profondità;
- gruette di sollevamento attrezzature;
- ROV di assistenza al sommozzatore;
- n. 3 generatori (2 x 550 KVA e 1 x 150 KVA);
- n. 1 camera iperbarica di emergenza;
- n. 4 verricelli di tonnellaggio per il posizionamento del pontone.

Gli interventi sono iniziati sul versante di Toscolano Maderno a partire dalla massima profondità della "Zona 2" per poi proseguire nella "Zona 1" sino al raggiungere la minima profondità di -40m.

Una volta ultimata la pressurizzazione delle prime due squadre di sommozzatori (ognuna costituita da 2 unità e quindi per un totale di n. 4 sommozzatori) all'interno dell'impianto di alto fondale e l'ormeggio del pontone modulare nella posizione di lavoro, i primi due sommozzatori sono passati dalla camera iperbarica alla campana che è stata calata a fondo lago.

Alle ore 19:59 del giorno 23 Febbraio 2019 il 1° sommozzatore ha raggiunto la profondità massima di -186m che costituisce il record mondiale di intervento in un bacino d'acqua interno non direttamente raggiungibile da mezzi marini.

In linea del tutto generale l'intervento di riparazione è consistito nella rimozione delle bioconcrezioni disposte sulla superficie esterna delle condotte sub lacuali mediante l'uso di spazzole, raschietti e mole ad azionamento idraulico o manuale, nella pulitura al vivo di tutte le superfici da residui fangosi, nella misura spessimetrica in corrispondenza dei crateri presenti sull'acciaio, nella spalmatura sulle superfici metalliche nude di speciali resine epossidiche-poliammidiche bicomponenti al fine di sigillare le cavità e i possibili punti di perdita e riprendere così la continuità del preesistente rivestimento esterno anticorrosivo delle condotte e nell'eventuale successiva installazione di speciali giunti a collare (clampe) in corrispondenza dei punti di vaiolatura più critici.

Il primo sommozzatore di ogni squadra ha operato singolarmente al fondo per circa 4 ore con il secondo sommozzatore in stand-by all'interno della campana pronto ad intervenire in caso di emergenza, dopo di che si è invertita la posizione e il secondo sommozzatore ha operato per ulteriori 4 ore.

Considerando i tempi di ammaino e sollevamento della campana iperbarica ogni squadra ha operato per un tempo complessivo di circa 9 ore al termine del quale si è alternata con la seconda squadra, ripetendo identiche tutte le operazioni.

Una volta completati tutti gli interventi sul versante di Toscolano Maderno si è dato corso alla decompressione finale dei primi 4 sommozzatori e al successivo periodo di osservazione post saturazione, completato 6 Marzo 2019.

Il giorno 8 Marzo 2019, una volta ultimata la pressurizzazione delle ulteriori due squadre di sommozzatori (distinte dalle prime due) sono iniziati gli interventi sul versante di Torri del Benaco sempre a partire dalla "Zona 2" per poi proseguire nella "Zona 1" seguendo le medesime procedure operative.

Gli interventi complessivi di riparazione eseguiti sulle condotte sub lacuali in alto fondale fra i 40 metri e i 186 metri di profondità hanno portato alle seguenti risultanze:

- n. 44 clampe installate, di cui n. 27 sul versante di Toscolano Maderno e n.17 sul versante di Torri del Benaco;
- n. 78 punti riparati mediante applicazione di resina epossidica subacquea, di cui n.52 sul versante di Toscolano Maderno e n. 26 sul versante di Torri del Benaco;
- totale dei punti riparati: 122
- sui restanti punti sono state asportate solo le bioconcrezioni superficiali in quanto il sottostante rivestimento esterno delle condotte non è risultato ancora attaccato e tantomeno sono stati accertati fenomeni di "pitting" in atto sull'acciaio;
- ore uomo lavorate: 14'208;
- personale impiegato: 47 tecnici.

Nel corso delle operazioni sono state raccolti dai sommozzatori numerosi campioni di bio-concrezioni in alto fondale che sono stati regolarmente consegnati alla Prof.ssa Roberta Pedrazzani del Laboratorio di Analisi Industriali e Ambientali del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale dell'Università degli Studi di Brescia, specificatamente incaricata da Acque Bresciane, che proseguirà nello studio delle concrezioni accresciutesi sulla condotte, analizzando le popolazioni batteriche coinvolte nel fenomeno e la natura delle concrezioni medesime.

INDAGINE BATI-MORFOLOGICA E GEOREFERENZIAZIONE COLLETTORE

Nell'ambito dei servizi di ispezione periodica, ed esattamente come previsto sia nel Piano di Manutenzione, Ispezione e Intervento che nel progetto esecutivo, è stata effettuata anche una indagine bati-morfologica lungo l'intero tracciato delle condotte sub lacuali mediante l'utilizzo di un *Multibeam* e di un *Side Scan Sonar*.

Ciò ha consentito di ottenere una precisa georeferenziazione delle condotte sub lacuali costituenti il collettore nell'attuale stato "*As-found*" e di accertare tutti gli scostamenti delle condotte sia in termini planimetrici che di profilo di posa rispetto alla configurazione "*As-built*" risultante agli atti di Acque Bresciane.

Nel Novembre 2019 è stata redatta dall'Ing. Falappa la relativa cartografia di raffronto nel sistema di riferimento satellitare RDN2008-TM32 contenenti sia i profili di posa del collettore sub lacuale e sia i dati e le caratteristiche del tracciato di posa espresso in termini di coordinate piane e geografiche, distanze parziali e progressive, curvature, azimut, ecc.

Dal puntuale raffronto tra la documentazione "*As-built*" e "*As-found*" è emerso quanto segue:

- dal P.K. 0+200 (circa) e sino al P.K. 3+200 (circa), e quindi anche lungo l'intera scarpata in prossimità dell'approdo di Toscolano Maderno, il collettore risulta traslato verso l'alto lago di circa 10,0 m;
- dal P.K. 3+200 (circa) e sino al P.K. 5+00 (circa) il collettore risulta traslato verso l'alto lago di circa 5,0 m;
- dal P.K. 5+000 (circa) e sino al P.K. 6+050 (circa) il collettore risulta pressoché coincidente con la configurazione "*As-built*";
- dal P.K. 6+050 (circa) il collettore si discosta sempre più dalla configurazione "*As-built*" allontanandosi sempre più verso il basso lago, sino a raggiungere lo scostamento massimo di circa 25,0 m intorno al P.K. 6+350;
- dal P.K.6+800 (circa) in avanti, ovvero lungo l'intera scarpata di risalita verso l'approdo di Torri del Benaco, il collettore risulta pressoché coincidente con la configurazione "*As-built*";
- tra il P.K. 6+400 (circa) e il P.K. 6+860 (circa) è stata confermata la presenza e la posizione di residui bellici disposti su entrambi i lati del collettore, costituiti da casse di bombe a mano e casse di bombe da mortaio (in alcuni casi a diretto contatto con le condotte);

- lungo l'attuale rotta "As-found" del collettore esiste in alcune zone una sensibile differenza batimetrica rispetto ai rilievi eseguiti nel 1983 dalla Ditta Geomar e, conseguentemente, del profilo di posa delle condotte;
- dal P.K. 0+260 (circa) sino al P.K. 0+580 (circa), e quindi lungo la scarpata in prossimità dell'approdo di Toscolano Maderno, la maggiore profondità d'acqua accertata è stata di circa 10,0 m, con punte massime sino a circa 23,0 m intorno al P.K. 0+520;
- i profili di posa si mantengono pressoché invariati (e comunque entro variazioni di 1-3 m) sino al P.K. 3+100 (circa), dopo di che inizia una maggiore profondità (che raggiunge circa 15 m) sino al P.K. 3+450 (circa);
- dal P.K. 3+450 e sino al P.K. 6+820 i profili di posa si mantengono pressoché invariati, e comunque contenuti entro variazioni di 3-5 m;
- lungo la scarpata di risalita verso l'approdo di Torri del Benaco la maggiore profondità d'acqua accertata è stata di circa 10,0-12,0m;
- la lunghezza complessiva del collettore, pari a 7.396,0 m, è stata confermata.

ULTERIORI SERVIZI DI ISPEZIONE FUTURI

Nell'ambito del Piano di Manutenzione, Ispezione ed Intervento e nell'ottica di mantenere in esercizio e in sicurezza le condotte sub lacuali fino alla loro fine vita, nella primavera 2020 (a distanza di circa 1 anno dall'intervento di riparazione in alto fondale che è stato eseguito) sono stati previsti e programmati ulteriori servizi di ispezione periodica mediante veicolo filoguidato ROV (*Remote Operated Vehicle*).

In funzione dei risultati che si otterranno, si procederà alla pianificazione dei successivi rilievi periodici sempre nell'ambito dell'esecuzione del suddetto Piano o all'esecuzione di nuovi interventi di riparazione aggiuntivi necessari a ridurre i rischi di rottura delle condotte sub lacuali in attesa di realizzare l'intervento di riqualificazione generale del sistema di raccolta dei reflui dell'intero bacino del lago di Garda.

CONCLUSIONI

A seguito di tutte le attività ingegneristiche, analisi, ispezioni e rilievi di dettaglio, oltre a tutti gli interventi di riparazione eseguiti sia in basso che in alto fondale sulle condotte sub lacuali costituenti il collettore in questione che va Toscolano Maderno a Torri del Benaco, si possono trarre le seguenti conclusioni, già esposte ed approfondite nella presente relazione:

- le condotte nel loro complesso non rivelano riduzioni di spessore rispetto a quello nominale;
- è emerso solo di recente il fenomeno delle bioconcrezioni che ha generato fenomeni di corrosione localizzate con formazione di "pitting" e vaiolature sull'acciaio;
- a seguito degli interventi di riparazione che sono stati eseguiti e portati a termine con successo sia in basso che in alto fondale tutte le corrosioni localizzate sono state riparate e quindi le buone condizioni strutturali delle condotte sono state ripristinate;
- attualmente è difficile poter affermare se la formazione delle bioconcrezioni si sia arrestata o abbia avuto una evoluzione compromettendo nuovamente lo stato delle condotte;
- questo sarà appurato solo a seguito di ulteriore videoispezione che sarà eseguita nella primavera 2020 e quindi solo dopo questa attività si potranno fare previsioni più precise;
- è tuttavia evidente che il fenomeno di biocorrosione pare avere un trend esponenziale, considerando le risultanze delle progressive ispezioni eseguite dal 2013 al 2019;
- in tutti i casi le condotte dovranno essere costantemente monitorate, azione necessaria per tenere sotto controllo il rischio di "corrosione esterna" che peraltro è l'unico classificato a rischio medio alto;

- con l'anno 2020, diventano 35 gli anni di esercizio della condotta dal 1985 ad oggi.
La tubazione si sta avvicinando progressivamente al termine della vita tecnica stimata in 40 anni per una condotta subacquea in acciaio adibita al trasporto di acque reflue.
È quindi coerente con il ruolo di programmazione dei piani di manutenzione da parte del Gestore, la previsione di dismissione della condotta per l'approssimarsi di tale termine, per evitare di dover sopportare oneri gestionali significativi per garantirne la sua funzionalità, come dimostrato dall'elevato costo del recente intervento di manutenzione straordinaria;
- a giudizio del Gestore Acque Bresciane, la dismissione della condotta Toscolano-Torri del Benaco è ulteriormente giustificata dalla complessità e soprattutto dalla pericolosità per le maestranze per la cantierizzazione di interventi di manutenzione in alto fondale.
La complessità e pericolosità di tali interventi è accentuata dal contesto lacuale, stante che i mezzi ed apparecchiature preposte ad operazioni in alto fondale vengono normalmente realizzati per interventi a mare, con dotazioni impiantistiche installate presso natanti appositamente progettati e che evidentemente non possono essere utilizzati in un lago.

Rovato, 14 gennaio 2020

Dott. Ing. Graziano Falappa

Dott. Ing. Mauro Olivieri